

PROJET FORET DE MAKIRA

ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA COUVERTURE FORESTIERE ENTRE 1990 ET 1996

RAPPORT FINAL – décembre 2001

Prepared by:

J. Clark Neloni RABENANDRASANA, Consultant

Projet d'Appui à la Gestion de l'Environnement
International Resources Group, Ltd.
1211 Connecticut Avenue, NW, Suite 700
Washington, DC 20036 USA

Prepared for:

USAID/Madagascar

Date

Environment Policy and Institutional Strengthening Indefinite Quantity Contact (EPIQ)

Partners: International Resources Group and Winrock International

Subcontractors: PADCO, Management Systems International, and Development Alternatives, Inc.

Collaborating Institutions: Center for Naval Analysis Corporation, Conservation International, KNB Engineering and Applied Sciences, Inc., Keller-Bliesner Engineering, Resource Management International, Inc., Tellus Institute, Urban Institute, and World Resources Institute

SOMMAIRE:

Page

INTRODUCTION	1
1. OBJECTIF	2
2. DESCRIPTION DES MATERIELS ET DONNEES UTILISEES.....	2
3. METHODOLOGIE	4
4. RESULTATS.....	9
5. ESTIMATION DE LA PRECISION DE L'ANALYSE.....	13
6. COMMENTAIRES ET RECOMMANDATIONS.....	14
CONCLUSION	

1 L'OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif principal de la présente étude est d'estimer le taux de changement ou de pertes en forêt entre 1990 et 1996 dans la région de Maroantsetra (Cf. carte de localisation du projet) et de présenter les résultats sous format statistique et cartographique.

Moyement de l'image 1996, une classification de l'occupation du sol est aussi envisagée. Des stratifications aussi ont été faites selon la variation de l'altitude.

2 DESCRIPTION DES MATERIELS, MOYENS ET DONNEES UTILISES

Deux images satellites acquises à deux dates différentes couvrant les zones d'études ont été utilisées.

Il s'agit des images LANDSAT TM acquises en 1990, à comparer avec celles prises en 1996 :

Région	Trajectoire / Ligne	Date d'acquisition	Résolution en m
Maroantsetra	158/071	1990	30 m
Maroantsetra	158/071	1996	30 m
Maroantsetra	158/070	1996	30 m

Les deux images acquises en 1990 et 1996 de la partie de Sud de l'étude (trajectoire 158/71 et 158/71) sont disponibles, par contre, l'image 158/070 de l'image 1990 n'est pas disponible (Cf. carte de délimitation et zonage de la région) ce qui a amené le MEF et PAGE à décider que :

- L'analyse de taux de perte en forêt sera réalisée seulement sur la partie sud de la région et

- Les images Sud et Nord de la région acquises en 1996 seront utilisées pour réaliser la carte d'occupation du sol.

Les traitements, depuis la lecture des données jusqu'à l'impression cartographique et statistique finale ont demandé la mise en œuvre des moyens et matériels de classification d'images numériques et statistiques ainsi que des méthodologies appropriées qui seront détaillées dans les prochains chapitres.

Le tableau suivant résume la liste des principaux matériels utilisés au cours de l'étude :

LOGICIEL	PRINCIPALE FONCTION	FONCTION DANS LE PROJET
MULTISCOPE 2.41, ©MATRA CAP SYSTEM, FRANCE	Traitement d'image et d'analyse statistique	Traitement d'image en vue d'évaluation de l'évolution de la couverture forestière et classification de l'occupation du sol
IDRISIW 2.4, ©Clark University, USA	Traitement d'image, analyse statistique et Système d'Information Géographique (S.I.G.)	Traitement d'image, Modèle numérique de terrain, divers calculs statistique et stratification

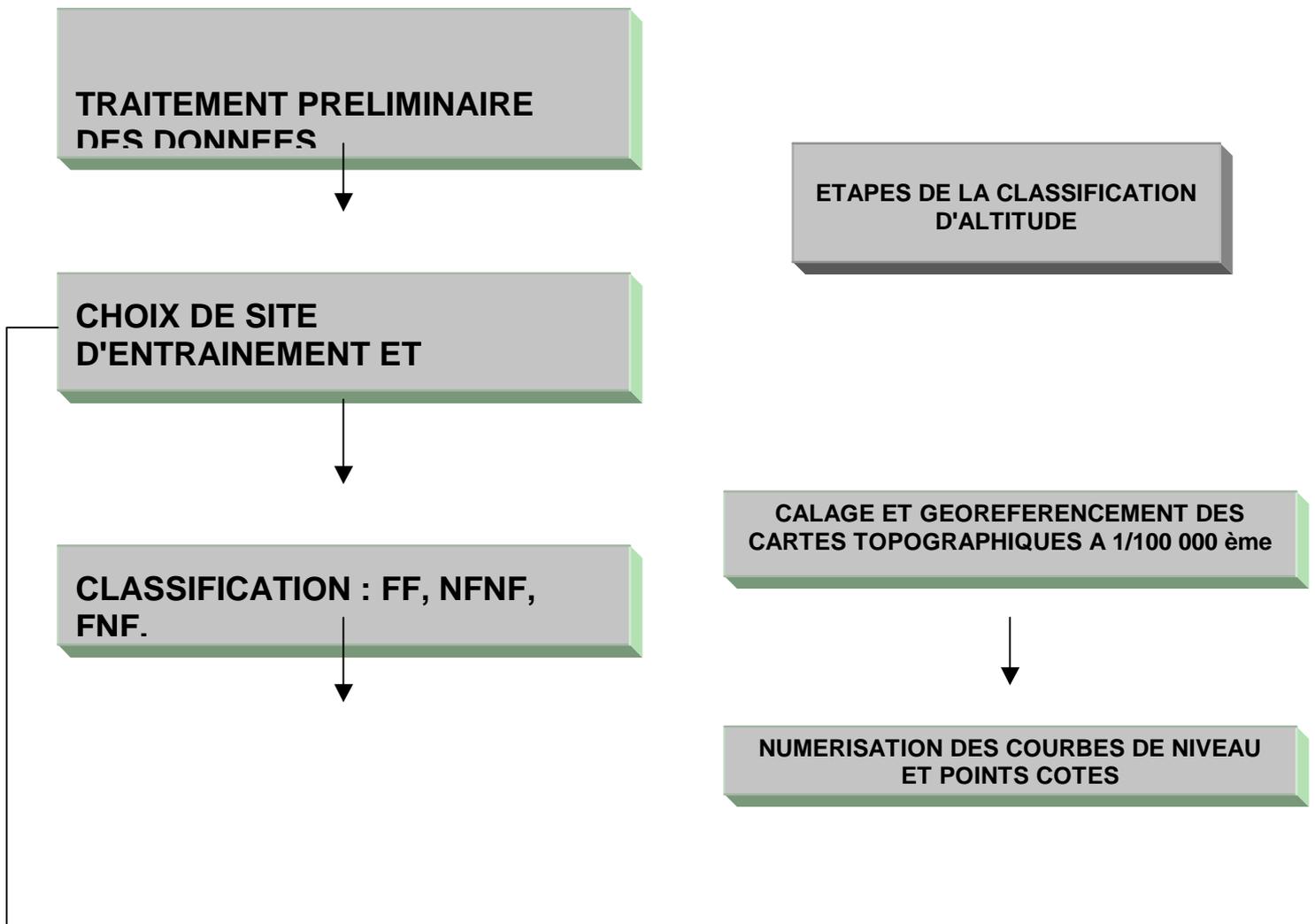
Ces deux logiciels permettent conjointement de réaliser aisément les différentes étapes des études requises au cours de l'analyse.

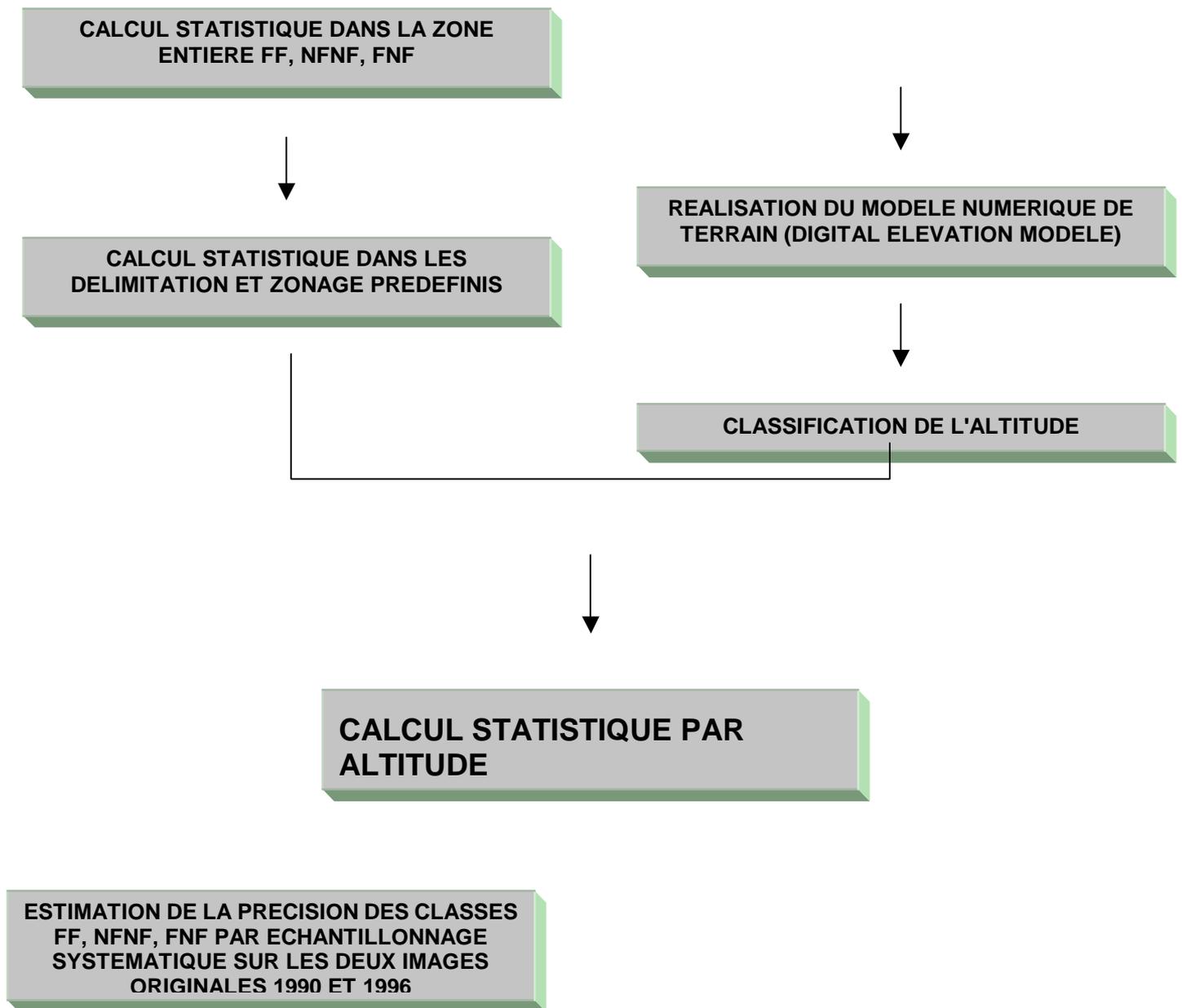
CARTE LOCALISATION REGIONALE

3 METHODOLOGIE

La méthodologie utilisée au cours du traitement des données peut être résumée par le schéma de l'organigramme suivant :

SCHEMA METHODOLOGIQUE





3.1 TRAITEMENT PRELIMINAIRE DES DONNEES

Avant toute analyse proprement dite, les deux images doivent avoir la même précision afin d'éviter de décalage image à image et doivent aussi être superposables avec des cartes topographiques à 1/100 000 ème, bases des stratifications altitudinales et à partir desquelles les données sur les altitudes et notamment les courbes de niveau nécessaires à la stratification ont été numérisées.

Après lecture et extraction de la zone d'étude on constate que les images de 1990 et 1996 ne présentent aucun décalage mais ne sont pas superposables avec les cartes topographiques, Ceci

est dû, peut être, à ce que ces images ont été corrigées par rapport aux données ou cartes au 1/200 000 ème.

En raison de l'importance de la précision des données requises dans le cas d'une telle étude, on a décidé de faire des corrections géométriques supplémentaires sur les deux images en utilisant les cartes topographiques 1 / 100 000 ème comme référence, ceci malgré les contraintes de temps.

Il s'agit d'une correction basée sur une soixantaine des points AMERS identifiables aussi bien sur les images satellites que les cartes topographiques utilisant une fonction polynomiale de troisième degré, en raison de la topographie de la région assez montagneuse. Les images rectifiées obtenues sont de bonne qualité en superposant celles-ci sur les cartes topographiques avec une erreur moyenne quadratique de l'ordre de +/- 33 m

Les bandes 1,2,3,4,5 et 7 de chaque image ont été, tous utilisées dans cette étude et ensuite enregistrées dans une seule image de travail mais, seuls, les canaux 2,4,3 et 5 ont été vraiment exploités lors de l'analyse.

Il est important de noter que la première version de l'image 1990 livrée au consultant a présenté des irrégularités au niveau des pixels, ainsi, les images donnent des textures et structures inhabituelles dues probablement à la correction géométrique.

A titre d'exemple, un plan d'eau au milieu des forêts se ressemble à un mélange de pixels eau/forêt ne conforme pas à la réalité rendant difficile d'avoir des sites homogènes et peut fausser complètement la classification ainsi que les statistiques.

3.2 CHOIX DES SITES D'ENTRAINEMENT ET CLASSIFICATION

Dans cette étude, la méthode de classification utilisée est le maximum de vraisemblance basé sur des échantillons pris dans chaque classe identifiée. Chaque classe est caractérisée par une clef d'interprétation bien définie. Ces échantillons doivent être suffisants et homogènes car l'algorithme extrapole la valeur des pixels de chaque classe sur l'ensemble de l'image en calculant la probabilité d'appartenance de celle-ci..

Le nombre minimal requis par l'algorithme est de 100 pixels pour une classe, mais au cours de cette étude, chaque classe a eu quatre à cinq fois du nombre minimal, eu à l'égard de l'étendue de la zone et les variétés des sous classes que l'on puisse avoir au sein d'une même classe.

Deux types images ont été produits dans cette étude :

a) *L'image montrant l'occupation du sol en 1996 (couverture forestière, savane, plan d'eau,..)*
:

Elle est obtenue par la classification de l'image de 1996, car elle présente de qualité beaucoup mieux que celle de 1990.

Les classes identifiées sont :

1) Obscurcie en 1996

Nuage et ombre en 1996

2) Forêt dense primaire :

On considère comme forêt dense primaire des zones d'arbres ayant une fermeture de la cime supérieure à 65 ou 70%. Forêt n'ayant subi aucune dégradation et dans son état naturel.

3) Forêt fortement dégradée

Forêt ayant subi forte dégradation, zone de tavy, etc.

4) Savanes

Savanes avec et/ou sans éléments ligneux.

5) Zones inondables

Zone pouvant être inondée selon la saison.

6) Cultures maraîchères

7) Rizicultures

8) Mosaiques forêt et formation marécageuse

9) Principale fleuve et plan d'eau

10) Zone côtière

Nota :

On a constaté sur l'image une classe de forêt primaire présentant de densité moins faible que la forêt dense primaire citée plus haut.

Cette faiblesse en densité est naturelle et pourrait aussi être liée à la géologie de la zone dans certain cas mais dans d'autre cas elle liée au reflet du soleil ou son angle azimutal. Fautes de vérification exacte sur terrain, on a décidé de fusionner ces deux types de forêt sous une seule classe *Forêt dense primaire*.

b) L'image montrant la couverture forestière en 1996 et l'évolution de la couverture forestière entre 1990 et 1996 :

Elle est obtenue par la classification conjointe des deux images 1990 et 1996 et dont les classes sont :

1) OBSCURCIE

Nuage ou Ombre en 1990 ou 1996

2) FF :

Classe de Forêt 1990 à Forêt 1996

3) NFNF :

Classe de Non-Forêt en 1990 à Non-Forêt en 1996

4) FNF

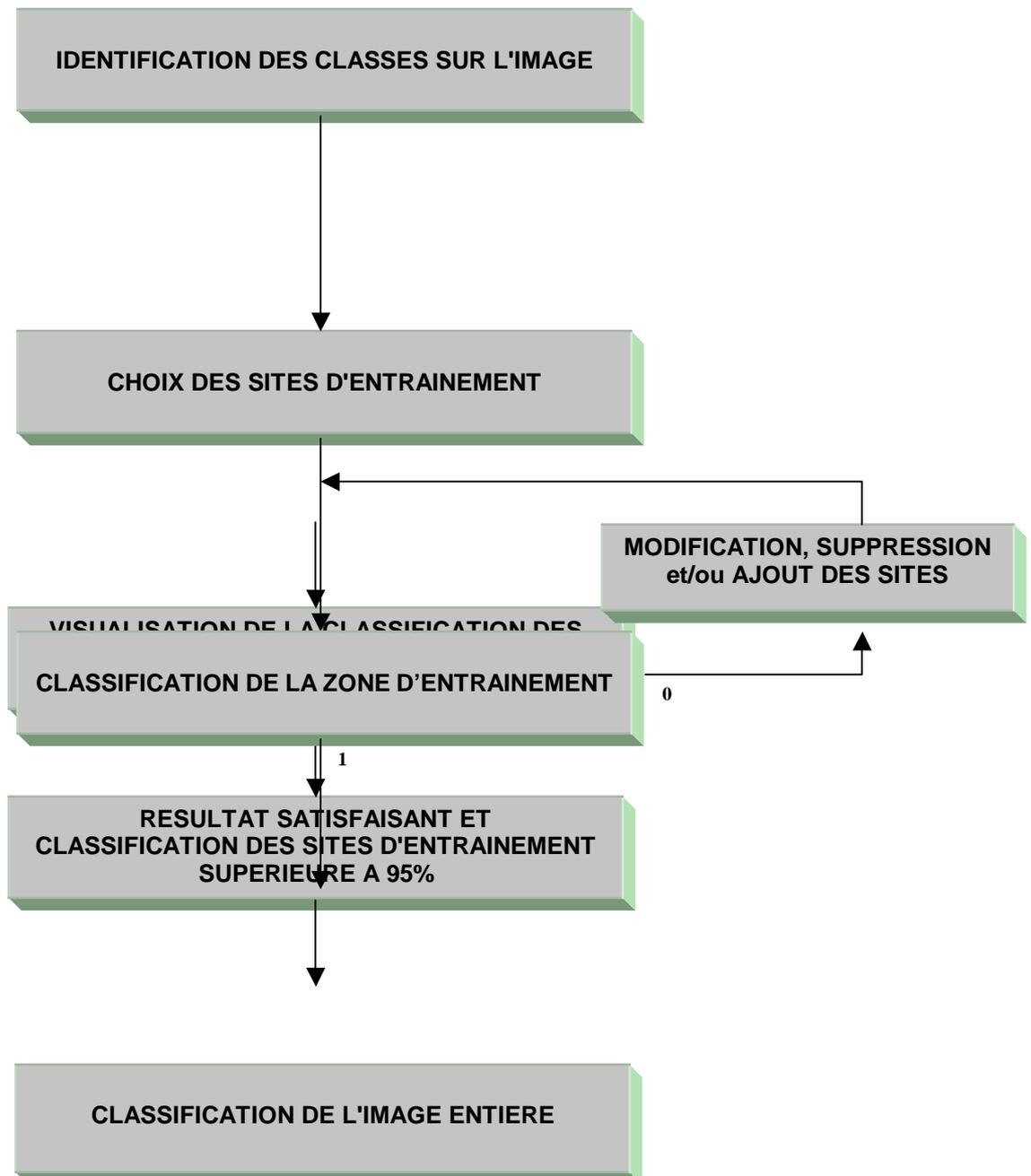
Classe de Forêt en 1990 et Non-Forêt en 1996

Après avoir choisis les sites de chaque classe, suffisants et homogènes, l'algorithme "Maximum de vraisemblance" est lancé pour classier d'abord les sites d'entraînement.

Selon le résultat de la classification dans chaque site, on modifie, supprime ou ajoute les sites d'entraînement car le taux d'exactitude de la classification dans chaque site doit être supérieur à 95% avant de classier l'image entière.

On réitère ces étapes jusqu'à l'obtention des résultats satisfaisants selon le schéma suivant :

SCHEMA DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA CLASSIFICATION



3.3 TRAITEMENTS POST-CLASSIFICATION

Filtrage des pixels :

A cause des éventuelles erreurs dues à la qualité des images, les résultats ont été filtrés dans le but d'enlever les pixels isolés, pour ce faire, un filtre de taille 3 x 3 a été lancé en vue de supprimer le pixel du milieu s'il n'y a pas une relation avec ses huit pixels voisins.

Mise à jour de la classe obscurcie :

Pour l'analyse de l'évolution de la couverture forestière, la classe obscurcie pour 1990 ou 1996 cache des informations, par conséquent, elle est écartée à tout calcul statistique. (Les informations en 1996 cachées par la classe obscurcie de 1990 et inversement)

Par contre, pour la carte d'occupation du sol de 1996, seule la classe obscurcie de l'image de 1996 est retenue.

3.4 CALCUL STATISTIQUE

Tous les calculs statistiques sont faits dans une zone (polygone) ou sous zone bien définie.

La formule employée pour l'estimation du taux de changement de la couverture forestière est la suivante :

% de perte en forêt = perte en forêt / Forêt T1*100

% annuel de perte en forêt = % Perte en forêt / nombre d'années entre T1 et T2

Où T1 est l'année 1990 et T2 l'année 1996.

Calcul statistique selon la classe d'altitude

Pour la stratification altitudinale, il est d'abord nécessaire d'avoir la couche classe d'altitude.

Elle est obtenue selon les étapes suivantes :

- Numérisation des courbes de niveau et points cotés à partir des cartes topographiques au 1/100 000ème,
- Interpolation automatique de l'altitude pour avoir le modèle numérique de terrain (Cf. carte : Modèle Numérique de terrain de la région),
- Classification de l'altitude (Cf. carte : Les principales classes d'altitude)

Pour faire le calcul, il suffit de superposer la couche d'analyse sur la couche classes d'altitude, extraire à partir d'une sélection SQL le critère voulu et lancer la statistique.

4 RESULTATS

Les tableaux suivants résument les résultats des analyses dans cette étude :
(Cf. Carte de délimitation et zonage pour les limites)

Selon les vérifications faites dans le Chapitre 5 de la page 13 sur l'estimation de la précision de la classification, les statistiques suivantes présentent une précision de +/- 5%.

LIMITE D'ETUDE DE CHANGEMENT DE LA COUVERTURE FORESTIERE

LEGENDE LIMITE IMG96	SURFACE EN HA
FF(Forêt 1990 et Forêt 1996)	340515.81
FNF (Forêt 1990 et Non-Forêt 1996)	9028.26
FNF%	2.58%

Déforestation annuelle	0.43 %	1504.71 Ha
------------------------	--------	------------

LIMITE ZONE D'ETUDE

LEGENDE_ZONE_ETUDE	SURFACE EN HA
FF(Forêt 1990 et Forêt 1996)	232561.44
FNF (Forêt 1990 et Non-Forêt 1996)	3861.99
FNF%	1.63

Déforestation annuelle	0.27 %	643.67Ha
------------------------	--------	----------

LIMITE DE FORETS PERTURBEES

LEGENDE_FOR_PERTURB.	SURFACE EN HA
FF(Forêt 1990 et Forêt 1996)	138869.37
FNF (Forêt 1990 et Non-Forêt 1996)	3807.54
FNF%	2.67

Déforestation annuelle	0.45%	634.59Ha
------------------------	-------	----------

LIMITE DE FORETS NON-PERTURBEES

LEGENDE_FOR_NON-PERTURB.	SURFACE EN HA
FF(Forêt 1990 et Forêt 1996)	93692.07
FNF (Forêt 1990 et Non Forêt 1996)	54.45
FNF%	0.06

Déforestation annuelle	0.01%	9.08Ha
------------------------	-------	--------

STATISTIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL (IMAGE 1996)

ZE: Zone d'étude
ZNP: Zone non perturbée
ZP: Zone perturbée
ZE=ZNP+ZP

i) Zone du projet

LEGENDE ZE	Inf à 800 m en Ha	% inf 800 / ZE	Sup à 800 m en Ha	% sup 800 / ZE	Total	%
Forêt dense primaire	184702.86	40.06	201786.93	43.76	386489.79	83.82
Forêt dégradée	27798.12	6.03	14543.28	3.15	42341.4	9.18
Savanes	705.87	0.15	8930.79	1.94	9636.66	2.09
Cultures et rizicultures	2529.99	0.55	86.76	0.02	2616.75	0.57
Plan d'eau	1124.91	0.24	55.44	0.01	1180.35	0.26
Zone inondable/marais	182.25	0.04	31.32	0.01	213.57	0.05
Obscurcies 1996	13941.81	3.02	4685.94	1.02	18627.75	4.04
Total	230985.81	50.09	230120.46	49.91	461106.27	100.00

ii) Zone non perturbée

LEGENDE ZNP	Inf à 800 m en Ha	% inf 800 / ZNP	Sup à 800 m en Ha	% sup 800 / ZNP	Total	%
Forêt dense primaire	44405.73	27.74	110203.83	68.85	154609.56	96.59
Forêt dégradée	95.22	0.06	203.76	0.13	298.98	0.19
Savanes	13.23	0.01	27.63	0.02	40.86	0.03
Cultures et rizicultures	0.72	0.00	0.09	0.00	0.81	0.00
Plan d'eau	80.46	0.05	43.56	0.03	124.02	0.08
Zone inondable/marais	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Obscurcies 1996	2188.71	1.37	2800.44	1.75	4989.15	3.12
Total	46784.07	29.23	113279.31	70.77	160063.38	100.00

iii) Zone perturbée

LEGENDE ZP	Inf à 800 m en Ha	% inf 800 / ZP	Sup à 800 m en Ha	% sup 800 / ZP	Total	%
Forêt dense primaire	140297.13	46.60	91583.1	30.42	231880.23	77.03
Forêt dégradée	27702.9	9.20	14339.52	4.76	42042.42	13.97
Savanes	692.64	0.23	8903.16	2.96	9595.8	3.19
Cultures et rizicultures	2529.27	0.84	86.67	0.03	2615.94	0.87

Plan d'eau	1044.45	0.35	11.88	0.00	1056.33	0.35
Zone inondable/marais	182.25	0.06	31.32	0.01	213.57	0.07
Obscurcies 1996	11753.1	3.90	1885.5	0.63	13638.6	4.53
Total	184201.74	61.19	116841.15	38.81	301042.89	100.00

CARTE DE DELIMITATION ET ZONAGE

CARTE ANALYSE

CARTE OCCUPATION DU SOL

5 ESTIMATION DE LA PRECISION DE L'ANALYSE

Une classification en soi n'a pas de réelle signification si elle n'est pas suivie d'une estimation de sa précision.

Il est important de noter que, seule, la descente sur terrain permet d'estimer la précision d'une classification, toutefois, le consultant a réalisé une auto-vérification au bureau basée sur des échantillons de plus de 200 points choisis au hasard sur l'image résultat de l'analyse de l'évolution du couvert forestier entre 1990 et 1996 et dont la répartition est la suivante. (Cf. liste des points de contrôle)

CLASSES	NOMBRE DES POINTS
FF	81
NFNF	73
FNF	173

Cette auto-vérification se fait de la manière suivante :

- On choisit au hasard sur la couche résultat de l'analyse les 227 points à vérifier et on ferme cette couche,
- On ouvre simultanément les deux images brutes et vérifie les vraies classes de chaque point.

Le résultat de cette auto-vérification donne un taux d'exactitude de 95% pour la classe FNF, 98% pour la classe NFNF et 97% pour la classe FF.

On pourrait alors dire que les marges d'erreur sont respectivement +/- 5% pour la classe FNF, +/- 2% pour la classe NFNF et +/- 3% pour la classe FF.

A l'issue de cette vérification, les points mal ou non classés sont ré-examinés et corrigés manuellement.

Ces taux d'exactitude élevés montrent la fiabilité de la méthode. Toutefois, ce type de contrôle est nécessaire mais pas suffisant et doit faire l'objet de visites sur terrain.

➤ L'acquisition des images satellites parfaites (sans couvertures nuageuses, au moment voulu) est souvent difficile, notamment dans une telle région, toutefois pour une meilleure interprétation des résultats, le consultant remarque le fait suivant :

En observant les images de l'évolution de la couverture forestière, une bonne partie des forêts classées de *Haute Rantabe*, la partie Est d'*Anjiabe* et celle de *Vohitaly* est couverte de nuage, alors que ces régions figurent parmi la partie la plus peuplée de la zone, par conséquent, on estime que le taux de déforestation aurait beaucoup plus important par rapport à une zone entièrement dégagée. Ainsi, une analyse à partir des deux autres images sur cette partie est souhaitée pour permettre de réaliser une statistique plus significative de la région.

➤ On sait que les deux types de forêts dense primaire (dense et moins dense) ont des conséquences sur l'estimation de biomasse et de stock de carbone, alors que dans cette analyse on a fusionné les deux classes.

En effet, en vue de les séparer, on avance les propositions suivantes :

- On se base toujours sur les images satellites mais couplées avec des études plus approfondies notamment l'analyse de la relation entre pente, altitude, occupation du sol et angle d'inclinaison du soleil, sans oublier, bien sûr, les travaux de terrain.
Du fait que les données sur la pente et l'altitude devront être préparées préalablement et que leur intégration dans l'image satellite devrait être précise autant que possible, cette méthode nécessite beaucoup plus de temps.
- On utilise les photographies aériennes en raison de sa résolution géométrique et de la facilité de distinguer les deux classes mais on devrait réfléchir sur le délai et le coût de réalisation.

➤ Cette étude sur l'analyse de l'évolution de la couverture forestière a été menée en se basant sur des études antérieures similaires combinées avec l'expérience du consultant. Malgré les contrôles faites au bureau sur le résultat de l'analyse de l'évolution de la couverture forestière, une phase de vérification sur terrain semble primordiale, à mener, conjointement avec la vérification de la carte d'occupation du sol.

➤ Les contraintes liées aux matériels se font sentir au cours de l'analyse compte tenu de l'étendue de la zone, de la taille et du nombre des images utilisées et vis à vis du délai accordé à la réalisation des analyses.

Toutes ces remarques et les recommandations y afférentes feront partie des objectifs du rapport sur la méthodologie du monitoring des pertes prévu dans le cadre de ce projet.

CONCLUSION

Au terme de cette étude, grâce à la méthodologie employée ainsi que les images satellites disponibles utilisées nous avons pu établir des résultats statistiques et cartographiques sur l'évolution de la couverture forestière dans la région de Maroantsetra.

Certes, nombreuses sont les méthodes qui permettent de réaliser une telle analyse, la méthodologie proposée ici n'en est qu'une, elle est surtout choisie en raison de sa rapidité et de sa fiabilité.

Pour bien mener à terme le projet, on réitère ici encore la nécessité et l'importance des travaux de terrain malgré l'auto-vérification et les corrections déjà faites.

Malgré tout, on constate ici la limite de l'utilisation des images satellites, notamment dans le cas de l'estimation plus précise de la quantité de biomasse ou de stock de carbone mais qui pourrait être compensée grâce à l'intégration des données exogènes comme la pente et l'altitude et/ou en utilisant de méthodes plus appropriées. Cette discussion sera tenue en compte lors du rapport sur le monitoring des pertes pour le long terme.

Finalement, les recommandations et remarques établies s'avèrent intéressantes en vue d'une meilleure interprétation des résultats des analyses et de l'amélioration des travaux futurs.